

EXPERIMENTE DE FIZICĂ **pentru elevi și studenți**

Nicolae Sfetcu

MultiMedia Publishing

Experimente de fizică pentru elevi și studenți

PREVIZUALIZARE CARTE

Nicolae Sfetcu

Publicat de MultiMedia Publishing

© 2025 Nicolae Sfetcu. Toate drepturile rezervate

ISBN: 978-606-033-947-2

[DOI: 10.58679/MM46997](https://doi.org/10.58679/MM46997)

Cuprins

Experimente de fizică pentru elevi și studenți	1
Importanța și rolul experimentelor de fizică în educație.....	3
Introducere	3
Fundamente teoretice ale învățării prin experiment.....	3
Exemple de experimente de laborator în predarea fizicii.....	4
Măsurarea accelerației gravitaționale.....	4
Legea lui Ohm și circuite electrice simple	4
Studiul mișcării pendulare amortizate.....	5
Interferența și difracția luminii – fantele lui Young.....	5
Experimente moderne – efectul fotoelectric și măsurarea constantei lui Planck.....	5
Pendulul fizic și factorul Q	7
Rezumat.....	7
Introducere și concepte de bază	7
Materiale necesare.....	9
Procedura experimentală.....	10
1. Montarea pendulului și calibrarea inițială.....	10
2. Măsurarea perioadei în funcție de lungime (determinarea lui g)	11
3. Observarea amortizării și determinarea factorului Q	12
Extindere și discuții suplimentare.....	13
Fișă de laborator.....	15
Titlul experimentului.....	15
Scopul lucrării	15
Noțiuni teoretice.....	15
Materiale necesare.....	15
Desfășurarea lucrării	15
Tabele de date	16
Prelucrarea datelor	16
Întrebări pentru elevi	16
Cuprins	17
Cartea	18
Bibliografie	21

Importanța și rolul experimentelor de fizică în educație

Introducere

Laboratorul de fizică ocupă un rol central și distinctiv în predarea științelor, fiind considerat de multă vreme o componentă esențială a educației științifice. Numeroși pedagogi au subliniat că activitățile experimentale aduc beneficii importante în învățare, oferind elevilor și studenților ocazia de a **observa și testa direct conceptele teoretice** (Hofstein și Lunetta 2004). Chiar dacă în anumite perioade s-a pus sub semnul întrebării eficacitatea învățării prin laborator, în ultimele decenii standardele educaționale moderne (de exemplu, abordările bazate pe investigație) au readus **experimentul științific** în prim-plan, recunoscându-l drept un instrument cheie pentru **învățarea prin descoperire** și pentru dezvoltarea competențelor practice și a gândirii critice (Hofstein și Lunetta 2004).

Această introducere analizează **importanța și rolul experimentelor de fizică** în educația elevilor de liceu și a studenților. Vom discuta fundamentele teoretice care susțin utilizarea experimentelor în predarea fizicii, vom oferi exemple concrete de experimente de laborator utilizate în programele educaționale, vom examina modul în care **experimentele digitale/virtuale** pot completa pe cele fizice, precum și **impactul pedagogic** al experimentelor asupra învățării științelor. De asemenea, vom analiza **provocările practice** în implementarea experimentelor în curriculum și, în final, vom prezenta concluziile principale. Scopul este de a evidenția modul în care **experiențele de laborator** contribuie la o educație STEM de calitate, atât la nivel liceal cât și universitar, sprijinindu-i pe elevi și studenți în a **îmbina teoria cu practica** și a dobândi o înțelegere mai profundă a conceptelor de fizică.

Fundamente teoretice ale învățării prin experiment

Din perspectivă pedagogică, importanța experimentelor de fizică se sprijină pe teorii ale învățării centrate pe elev și pe *constructivism*, care susțin că **învățarea autentică** are loc atunci când studenții *construiesc activ cunoștințe* pornind de la experiențe directe. Încă din anii 1960, cercetători precum Schwab (1962) sau Hurd (1969) subliniau că **specificul laboratorului** constă în faptul că oferă elevilor ocazii de a se angaja în *proces de investigare și explorare independentă*, similare demersului științific (Hofstein și Lunetta 2004). Cu alte cuvinte, experimentul de fizică le permite elevilor **să gândească și să acționeze ca niște oameni de știință**, formulând întrebări, testând ipoteze și observând direct fenomene.

John Dewey, unul dintre pionierii învățării experiențiale, afirma că educația trebuie să se bazeze pe „*învățarea prin acțiune*”. În aceeași linie, abordările contemporane de tip *inquiry-based learning* (învățare prin investigație) plasează experimentul în centrul procesului didactic (Kotsis 2024). Teoria constructivistă a cunoașterii – promovată de autori precum Piaget sau Bruner – susține că elevii *asimilează mai eficient conceptele științifice dacă participă direct la descoperirea lor*, prin rezolvarea de probleme și experimentare activă (Kotsis 2024). Astfel, experimentul devine un **cadru privilegiat de învățare activă**, unde elevul integrează cunoștințe teoretice cu observații practice, dezvoltându-și în același timp abilitățile cognitive și motrice.

În cadrul didacticii moderne a științelor s-au formulat o serie de **obiective educaționale** specifice activităților de laborator. Aceste obiective includ: *înțelegerea conceptuală* mai profundă a legilor fizicii prin *conectarea teoriei la realitate*, *dezvoltarea abilităților experimentale* (manevrarea aparaturii, efectuarea măsurătorilor, analizarea datelor, controlul variabilelor), *formarea gândirii științifice* (raționament inductiv și deductiv, formularea și testarea ipotezelor) și *dezvoltarea atitudinilor* față de știință (curiozitate, perseverență, lucru în echipă) (Kotsis 2024). Adesea, **obiectivele laboratorului se aliniază cu obiectivele generale ale predării științelor**, însă literatura de specialitate sugerează că este important să evidențiem *contribuțiile unice* ale experimentelor practice. Hofstein și Lunetta (2004) argumentau necesitatea de a identifica aspectele unde laboratorul oferă o *valoare adăugată* față de alte metode de predare – de pildă în dezvoltarea deprinderilor practice și a **spiritului de investigație** (Hofstein și Lunetta 2004). Ulterior, cercetări precum cele ale lui Tobin (1990) au arătat că o *învățare semnificativă* este posibilă în laborator dacă elevilor li se oferă oportunitatea să manipuleze echipamente și materiale într-un mediu care să le permită *construirea propriilor cunoștințe* despre fenomenele studiate (Hofstein și Lunetta 2004).

În sinteză, fundamentele teoretice evidențiază că **experimentul de fizică este ancorat într-o pedagogie activă și centrată pe elev**. Prin experiment, elevii *trec de la rolul pasiv de receptori ai informației la rolul activ de investigatori*, fapt care stimulează *gândirea critică* și îi ajută să *structureze cunoașterea* pe baza experienței proprii. Acest lucru este în perfect acord cu paradigma educației STEM din secolul XXI, care pune accent pe *învățarea prin proiecte practice și rezolvarea de probleme reale*. Nu în ultimul rând, abordările curriculare actuale (atât la nivel liceal, cât și universitar) promovează integrarea experimentelor pentru a îndeplini *standardele de competență științifică* – elevii și studenții trebuie nu doar să cunoască teorii, ci și **să poată aplica metodele științei** pentru a explora și explica lumea din jur.

Exemple de experimente de laborator în predarea fizicii

Atât în liceu, cât și în ciclul de licență universitar, curriculum-ul de fizică include o gamă variată de experimente de laborator menite să ilustreze conceptele cheie și să dezvolte aptitudini experimentale. Vom prezenta în continuare câteva exemple concrete de experimente, evidențiind rolul lor educativ.

Măsurarea accelerației gravitaționale

Un experiment clasic în mecanică, realizat frecvent în liceu, este determinarea accelerației gravitaționale g . Elevii pot folosi pendulul simplu (măsurând perioada oscilațiilor în funcție de lungimea firului) sau aparatul de cădere liberă (cronometrând timpul de cădere al unui obiect de la diferite înălțimi). Prin acest experiment, elevii *verifică relațiile teoretice* (de exemplu formula perioadei pendulului sau ecuațiile mișcării uniform accelerate) și învață să țină cont de erori de măsurare. **Rezultatul** – obținerea unei valori experimentale a lui g apropiată de $9,8 \text{ m/s}^2$ – oferă o satisfacție intelectuală și consolidează legătura dintre formula matematică și realitatea fizică. Totodată, elevii își formează deprinderi de folosire a cronometrului, metrului și de calcul al erorilor.

Legea lui Ohm și circuite electrice simple

În cadrul lecțiilor de electricitate, un experiment important este verificarea legii lui Ohm. Elevii (sau studenții, în laboratorul de fizică generală) construiesc un circuit simplu cu sursă de

tensiune, rezistor variabil (reostat) și ampermetru/voltmetru, măsurând curentul I care traversează rezistorul pentru diferite tensiuni U . Reprezentând grafic U în funcție de I , se obține o dreaptă a cărei pantă ilustrează rezistența electrică constantă, confirmând astfel *caracteristica lineară $U-I$* pentru rezistoare ohmice. Acest experiment concretizează legătura dintre aspectul abstract al legii lui Ohm ($U = R \cdot I$) și observația practică, ajutând la **fixarea conceptelor de tensiune, curent și rezistență**. Studenții învață totodată să utilizeze corect aparatele de măsură (multimetru), să conecteze componentele într-un circuit și să interpreteze erorile instrumentelor.

Studiul mișcării pendulare amortizate

Un exemplu de experiment realizat adesea în facultate (sau în liceele cu dotare avansată) este investigarea *mișcării oscilatorii amortizate*. Un pendul atașat de un resort (sau un pendul simplu cu frecare fluidă) este pus în mișcare, iar studenții înregistrează scăderea amplitudinii în timp. Prin analiza datelor, se pot determina coeficientul de amortizare și perioada efectivă de oscilație amortizată, comparativ cu cea neamortizată. Acest experiment îi ajută pe studenți să înțeleagă efectul forțelor disipative (frecare, rezistență a aerului) și să aprofundeze conceptele de *energie mecanică pierdută* și *constantă de timp* a sistemului. De asemenea, experimente de acest tip dezvoltă competențe de **prelucrare a datelor experimentale** (de exemplu, ajustarea unei funcții exponențiale de descreștere pe date experimentale și extragerea parametrilor fizici relevanți).

Interferența și difracția luminii – fantele lui Young

În optică, un experiment fundamental este observarea interferenței luminii monocromatice trecând prin două fante subțiri (experimentul lui Young). Atât elevii (în setări demonstrative), cât și studenții (în laboratorul de fizică) pot realiza această experiență folosind un laser și un ecran, obținând *franje de interferență*. Măsurând distanța dintre franje și cunoscând geometria experimentului, se poate determina lungimea de undă a luminii laser. Acest experiment are o valoare didactică deosebită: confirmă natura undulatorie a luminii și permite discutarea conceptelor de *coerență*, *diferență de fază* și *interferență constructivă/destructivă*. Totodată, oferă un exemplu de metodă experimentală prin care o *mărime microscopică invizibilă (lungimea de undă)* este dedusă din măsurători macroscopice simple, evidențiind **puterea explicativă a experimentului în fizică**.

Experimente moderne – efectul fotoelectric și măsurarea constantei lui Planck

La nivelul universitar (și uneori ca demonstrație în liceu), se realizează experimente care leagă fizica clasică de cea modernă. Un exemplu este determinarea **constantei lui Planck** folosind LED-uri sau fotocelule: se măsoară tensiunea de oprire (sau pragul de emisie luminoasă) pentru LED-uri de culori diferite, asociind acea tensiune cu energia fotonilor emiși. Reprezentând energia fotonilor în funcție de frecvența radiației (culoarea LED-ului), studenții obțin o dreaptă a cărei pantă este *constantă lui Planck*. Acest experiment îi ajută pe studenți să *conecteze observații experimentale cu conceptul teoretic de cuanta de energie*, oferind o **demonstrație practică a fizicii cuantice** la scară de laborator didactic. Ei învață să lucreze cu surse de tensiune variabilă, circuite cu fotodiodă/LED și să analizeze relații liniare cu semnificație fizică.

Lista de mai sus este departe de a fi exhaustivă – curriculum-ul de fizică include numeroase alte experimente relevante, cum ar fi: studiul legilor lui Newton (ex. măsurarea forței de frecare și a accelerației folosind planul înclinat sau mașina lui Atwood), investigarea fenomenelor termice (determinarea capacității calorice a unui obiect, legile gazelor folosind pistonul cu gaz),

experimente de **electromagnetism** (maparea liniilor de câmp magnetic cu pilitură de fier, inducție electromagnetică – legea lui Faraday, oscilații LC și curenți alternativi în laborator) etc. Important este că **fiecare experiment concret acționează ca o punte între teoria abstractă și realitatea palpabilă**, facilitând înțelegerea și oferind context practic cunoștințelor predate la tablă. Prin realizarea de experimente, elevii și studenții *văd cu ochii lor* fenomenele despre care învață și sunt provocați să analizeze *în mod critic* dacă datele experimentale confirmă modelul teoretic sau dezvăluie complexități suplimentare (de exemplu, erori, aproximații în teorie, condiții ideale vs. reale). Astfel, **laboratorul de fizică devine un mediu de învățare activă**, unde cunoștințele se construiesc și se consolidează prin experiență directă.

Pendulul fizic și factorul Q

Concepte: perioadă, amortizare, energie pierdută.

Ce faci: atârni un corp (șurub mare) pe sfoară; filmează sau folosește accelero-ul telefonului prins de corp.

Măsoți: T în funcție de $L \rightarrow$ estimezi g ; din scăderea amplitudinilor calculezi Q .

Extinde: pendul compus (rigid), efectul unghiului mare.

Rezumat

Lucrarea prezintă un experiment simplu și accesibil de studiu al pendulului fizic, având ca obiective măsurarea accelerației gravitaționale locale și determinarea factorului de calitate Q , care caracterizează amortizarea oscilațiilor.

Se pornește de la conceptele fundamentale ale pendulului simplu: perioada depinde de lungimea firului și de accelerația gravitațională, dar nu de masa bobului, atâta timp cât oscilațiile sunt de amplitudine mică. Prin măsurarea perioadei pentru diverse lungimi se poate calcula g .

În continuare, este analizată amortizarea: energia pendulului scade treptat datorită frecărilor, iar amplitudinea descrește exponențial. Factorul Q exprimă raportul dintre energia stocată și cea pierdută pe ciclu, indicând cât timp sistemul rămâne în oscilație. Se propun metode de determinare a lui Q (cronometrarea timpului de amortizare, logaritmul decrementului, analiza digitală).

Experimentul poate fi extins la pendulul compus (rigid), la studierea efectului amplitudinilor mari sau la analiza avansată a amortizării (rezistență liniară vs. quadratică). Utilizarea smartphone-ului cu senzori sau cameră video permite măsurători de mare precizie.

Concluzia este că experimentul pendulului fizic, realizabil cu mijloace minime, ilustrează elegant concepte fundamentale din fizică – de la legea perioadei până la fenomenele de amortizare și rezonanță – oferind o înțelegere clară asupra mișcării oscilatorii.

Introducere și concepte de bază

Un **pendul simplu** este alcătuit dintr-un obiect masiv (numit bob) suspendat de un fir sau o tijă, care poate oscila liber sub acțiunea gravitației (vezi figura de mai jos). Când pendulul este deviat cu un unghi mic și eliberat, el va oscila înainte și înapoi în jurul poziției de echilibru.

Perioada pendulului (notată T) este timpul necesar pentru o oscilație completă (dus-întors). Pentru oscilații de amplitudine mică (sub $\sim 10^\circ$), perioada pendulului depinde în principal de lungimea firului L și de accelerația gravitațională g , conform relației:

$$T \approx 2\pi \sqrt{L/g}$$

Această relație implică faptul că masa bobului nu influențează perioada (în aproximația unghiurilor mici). Dacă menținem unghiul inițial mic, perioada rămâne practic constantă (pendulul este izocron), proprietate descoperită de Galileo. În practică, pentru un unghi de pornire sub 10° ,

eroarea datorată aproximației este sub 0,1% (Eclat 2025). Prin măsurarea perioadei și cunoscând lungimea, putem estima accelerația gravitațională locală folosind formula echivalentă:

$$g = 4\pi^2 L/T^2 \quad \{2\}$$

(obținută prin rearanjarea ecuației 1) (Eclat 2025).

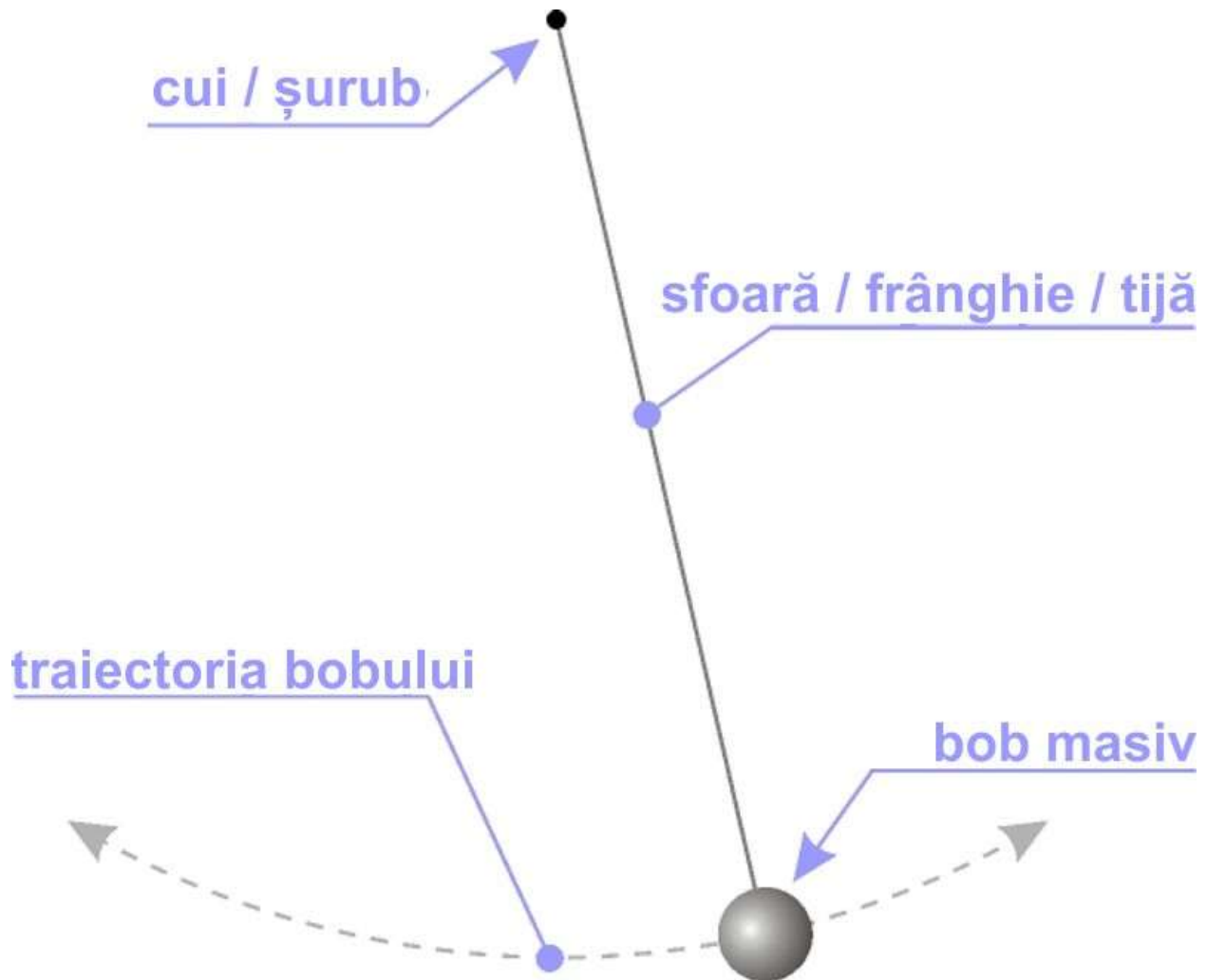


Figura 1: Un pendul simplu constă dintr-un bob masiv suspendat de un fir. Dacă este deviat cu un unghi mic față de verticală și eliberat fără a-i imprima viteză inițială, bobul oscilează în plan vertical în jurul poziției de echilibru (verticală).

În absența forțelor de frecare, un pendul ideal ar oscila indefinit cu amplitudine constantă. În realitate însă, pendulul **pierde treptat energie** la fiecare oscilație – în principal prin frecare cu aerul și frecări la punctul de suspensie. Acest fenomen se numește **amortizare (damping)**. Pe măsură ce energia se disipă sub formă de căldură sau mișcare a aerului, amplitudinea oscilațiilor scade exponențial în timp. Cu alte cuvinte, vârfurile oscilațiilor urmează o **anvelopă exponențială descendentă** (linia punctată roșie în graficul de mai jos)

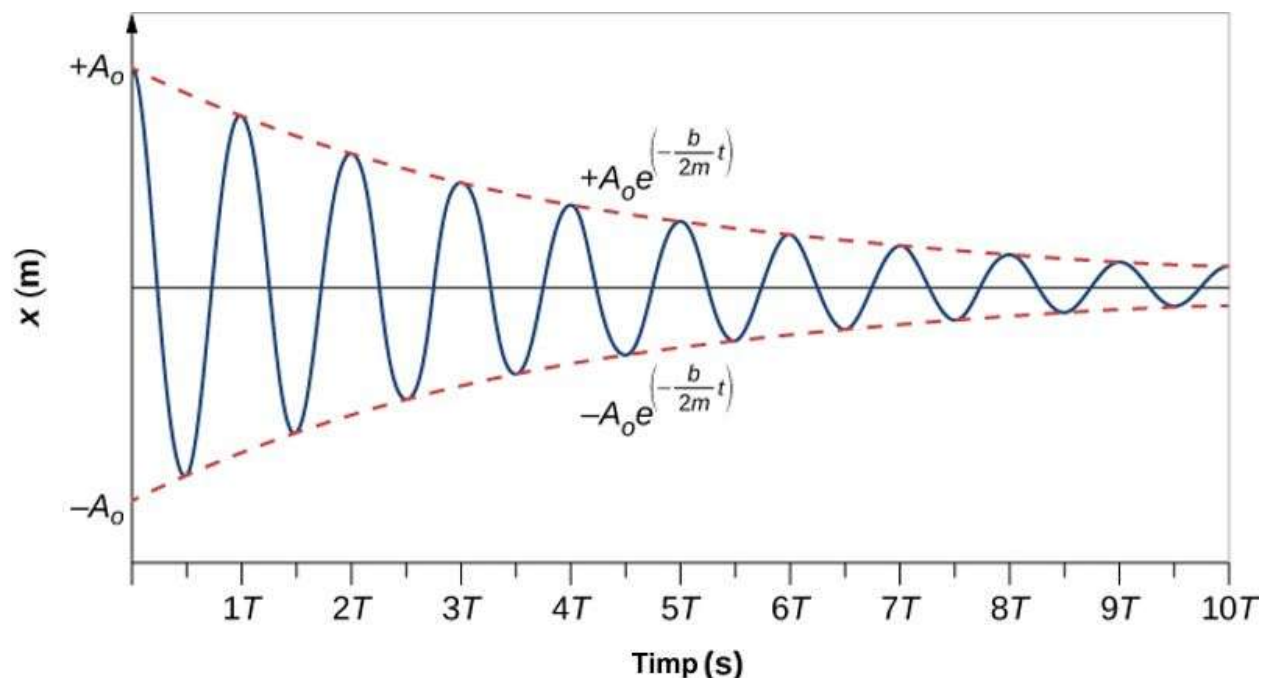


Figura 2: Oscilație amortizată a unui pendul. Curba albastră reprezintă oscilația (deplasarea x sau unghiul în timp), iar liniile roșii punctate arată scăderea treptată a amplitudinii maxime. Amplitudinea descrește exponențial, fiecare oscilație pierzând o fracțiune din energie.

În grafic este ilustrată o oscilație amortizată: curba albastră arată deplasarea (unghiul sau poziția bobului) în timp, iar liniile roșii punctate arată scăderea treptată a amplitudinii. Fiecare oscilație pierde o mică parte din energie, astfel că amplitudinea maximă A_0 scade aproximativ conform legii $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$, unde τ este o constantă de timp caracteristică amortizării.

Factorul de calitate Q este o mărime adimensională ce caracterizează cât de puțin amortizat este un sistem oscilant. Formal, Q este definit ca 2π înmulțit cu raportul dintre energia stocată și energia disipată într-un ciclu (IOP 2025). Intuitiv, Q indică aproximativ câte oscilații complete are pendulul înainte ca energia lui să se piardă aproape complet – cu cât Q este mai mare, cu atât pendulul oscilează mai mult timp înainte să se oprească (IOP 2025). Un pendul simplu în aer are de obicei un Q destul de ridicat (de ordinul sutelor sau chiar ~ 1000) (IOP 2025), deoarece pierderile prin frecare sunt mici. Un Q mare înseamnă amortizare slabă (oscilațiile descresc lent), iar un Q mic indică amortizare puternică (oscilațiile se sting rapid).

Materiale necesare

- **Masă suspendată (bob de pendul):** un obiect mic și greu, de preferință dens (ex: o piuliță metalică mare, un șurub, un bolovan mic, o greutate de plumb etc.). Masa bobului ar trebui să fie suficient de mare pentru a diminua efectul rezistenței aerului, dar nu atât de grea încât să fie periculos de manevrat.
- **Fir lung sau sfoară:** $\sim 1\text{--}2$ m de lungime, flexibil și inextensibil. Poate fi sfoară subțire, fir de pescuit sau o cordelină. (Opțional, o tijă rigidă pentru varianta de pendul compus – de ex. o riglă sau o bară metalică – vezi secțiunea de extinderi.)
- **Suport pentru pendul:** un punct de prindere stabil de care să legați firul. De exemplu, o grindă, tocul ușii, o bară transversală, un stativ de laborator sau chiar un trepied improvizat. Asigurați-vă că punctul de suspensie este suficient de înalt astfel

încât pendulul să poată oscila liber fără să atingă podeaua (ideal 1–1,5 m de pendulare).

- **Metru sau ruletă:** pentru a măsura lungimea L a pendulului (distanța de la punctul de suspensie până la centrul de masă al bobului).
- **Cronometru** (*stopwatch*) sau dispozitiv pentru măsurarea timpului: poate fi un cronometru manual, aplicația de ceas a telefonului sau, și mai bine, o metodă digitală automată (vezi mai jos). Precizia de măsurare a perioadei va afecta rezultatul, deci ideal e să minimizezi erorile de reacție umană.
- **Smartphone** (opțional, dar recomandat): Vă poate servi în mai multe moduri:
 - Ca **senzor de mișcare** – multe telefoane au accelerometru și giroscop. Cu aplicații gratuite precum *Phyphox* sau *Physics Toolbox Sensor Suite*, telefonul poate detecta oscilațiile și cronometra perioadele cu precizie de $\sim 0,001$ (Eclat 2025). Telefonul poate fi atașat chiar ca bob al pendulului (ex. introdus într-un săculeț agățat de sfoară) pentru a-i folosi senzorii, sau poate sta nemișcat în apropiere dacă folosiți altă metodă de măsurare.
 - Ca o **cameră video** – filmarea pendulului (eventual cu încetinitorul) ajută la analiza ulterioară a mișcării, permițând măsurarea precisă a perioadelor și amplitudinilor din cadre.
 - Ca **instrument de analiză video** – există aplicații ce pot urmări mișcarea pendulului în video (de ex. software-ul gratuit *Tracker* pe PC sau unele aplicații mobile de analiză video). Acestea permit determinarea poziției și vitezei pendulului în timp și calculul amplitudinii în fiecare oscilație.
- **Raportor sau riglă gradată** (opțional): util pentru a măsura unghiul inițial de oscilație. Puteți lipi un raportor lângă punctul de suspendare pentru a ști cu ce unghi trageți pendulul înainte de eliberare (ex: 5° , 10° , 30° etc.). Alternativ, puteți marca pe podea/extremități distanța laterală corespundătoare unui anumit unghi.
- **Burete sau bandă adezivă** (mic truc opțional): dacă pendulul are tendința să se rotească sau firul să se răsucescă, puneți un mic marcaj (ex. o bandă) pe bob ca să aveți un reper al planului de oscilație, și asigurați-vă că începeți oscilația strict într-un plan vertical.

Procedura experimentală

1. Montarea pendulului și calibrarea inițială

- **Asamblare:** Atașați bobul (greutatea) la un capăt al firului. Prindeți celălalt capăt ferm de suportul ales (tavan, grindă, stativ). Asigurați-vă că nodul de prindere este bine strâns și că bobul atâră liber, fără să atingă nimic când oscilează. Măsurați lungimea L a pendulului de la punctul de suspensie până la centrul bobului cu o ruletă (notați această valoare și incertitudinea sa, $\sim \pm 1$ mm). Dacă intenționați să variați lungimea, pregătiți moduri de a ajusta lungimea (de ex. legând firul la diferite puncte sau având mai multe fire).
- **Poziție de echilibru:** Identificați poziția de repaus (verticală) a pendulului – bobul atâră direct în jos. Este util să puneți o mică bandă pe podea sub poziția de echilibru sau un fir cu plumb de referință, ca să observați deviațiile.
- **Unghiul inițial:** Deplasați bobul într-o parte cu un unghi mic față de verticală (de ex. $\sim 5^\circ$ sau 10°). Puteți folosi un raportor plasat lângă fir, sau măsurați orizontal o

mică deplasare laterală corespunzătoare unghiului dorit (pentru unghiuri mici, $s \approx L \cdot \theta$). Marcarea cu bandă a poziției de lansare poate ajuta la consistență dacă repetați. **Avertisment:** Nu depășiți $\sim 15^\circ$ la această etapă, pentru a păstra valabilitatea ecuației perioadei (1) și a evita erorile mari (Eclat 2025). De asemenea, nu împingeți bobul când îl eliberați – lăsați-l să pornească din repaus pentru a nu induce mișcare suplimentară.

- **Senzori/Filmare (opțional):** Dacă folosiți smartphone-ul ca senzor, fixați-l acum (de exemplu, puneți telefonul în interiorul unui săculeț de pânză legat la capătul firului, asigurându-vă că nu se poate desprinde) (Eclat 2025). Deschideți aplicația de senzori (*Phyphox*, *SensorLog* etc.) și selectați modul *Pendulum* sau *Accelerometer*. Dacă filmați, poziționați camera astfel încât planul de oscilație să fie perpendicular pe direcția de filmare, cu pendulul și eventual un fundal gradat (riglă/metru) în cadru. Înregistrați la 30 sau 60 fps (sau slow-motion la 120+ fps pentru detalii mai fine).

2. Măsurarea perioadei în funcție de lungime (determinarea lui g)

Scopul acestei părți este să verificăm relația dintre T și L și să estimăm accelerația gravitațională g . Vom măsura perioada pendulului pentru diferite lungimi ale firului:

1. **Măsurare pentru o lungime dată:** Eliberați pendulul de la un mic unghi inițial (ex $\sim 10^\circ$). Lăsați-l să oscileze câteva perioade pentru ca mișcarea să se stabilizeze. Apoi începeți cronometrul sincronizat cu trecerea pendulului prin poziția de echilibru (sau un reper fix) – alternativ, puteți cronometra de la o extremă la următoarea aceeași extremă (de exemplu, când bobul revine la punctul maxim stânga).
 - a. **Metodă manuală:** Măsurați timpul pentru, să zicem, 10 oscilații complete consecutive, apoi împărțiți timpul total la 10 pentru a obține perioada medie T . Cronometrarea mai multor oscilații reduce eroarea de reacție umană. Repetați măsurarea de 2-3 ori și faceți media pentru acuratețe.
 - b. **Metodă cu telefonul:** Dacă utilizați aplicația de senzori, aceasta poate înregistra automat oscilațiile. De exemplu, un accelerometru al telefonului atașat bobului va arăta un maxim de accelerație la capetele de oscilație. Măsurând intervalul dintre maxime consecutive (sau efectuând un FFT pentru a extrage frecvența) puteți obține T foarte precis (Eclat 2025). În mod similar, un giroscop poate detecta inversările de direcție la capete. Multe aplicații (*Phyphox*, etc.) pot chiar afișa direct perioada medie pe baza acestor date.
 - c. **Metodă video:** Dacă ați filmat, ulterior identificați momentul în care pendulul trece prin poziția de echilibru (sau atinge un maxim) în cadrele video. Determinați numărul de cadre între două treceri identice și, cunoscând frame-rate-ul, calculați perioada. De exemplu, la 60 fps, dacă între două poziții identice trec 120 de cadre, perioada este $120/60 = 2$ s. Pentru precizie, luați intervalul peste 5-10 oscilații filmate și împărțiți la numărul de oscilații.
2. **Variați lungimea și repetați:** Ajustați lungimea pendulului (de ex. la $\sim 0,5$ m, 1 m, 1,5 m – puteți alege 3–5 valori diferite). Pentru fiecare lungime L , măsurați perioada T după metoda de mai sus. Notați cu atenție L (cu incertitudinea sa) și T mediu.
3. **Analiza datelor – relația T^2 vs. L :** Conform ecuației (1), dacă $T = 2\pi \sqrt{L/g}$, atunci $T^2 = 4\pi^2/g L$. Așadar, graficul T^2 în funcție de L ar trebui să fie o linie dreaptă ce trece prin origine (Eclat 2025). Trasați un tabel și un grafic cu valorile măsurate. Determinați panta

dreaptă (folosind două puncte sau o regresie liniară). Panta ar trebui să fie aproximativ $4\pi^2/g$. Din panta obținută, calculați valoarea lui g :

$$g \approx 4\pi^2/\text{panta}.$$

De exemplu, dacă obțineți o pantă de $\sim 0,102 \text{ s}^2/\text{cm}$ (doar un exemplu), atunci $g = 4\pi^2/0,102 \approx 9,65 \text{ m/s}^2$. Comparați valoarea obținută cu valoarea standard $9,81 \text{ m/s}^2$. Diferența ar putea proveni din erorile de măsurare (cronometrare, măsurarea lungimii) sau din efecte sistematice (unghi inițial neglijat prea mare, extensia firului, rezistența aerului – deși mică, etc.). Menționați aceste posibile erori. În special, dacă unghiul inițial a fost ceva mai mare, T real va fi ușor mai mare decât formula teoretică (1) – există o corecție de ordinul $(1 + \theta_0^2/16)$ pentru unghiul inițial θ_0 (Eclat 2025). Păstrând $\theta_0 < 10^\circ$, eroarea de la acest efect rămâne sub 0,1% (Eclat 2025), deci practic neglijabilă în comparație cu erorile de măsurare manuală.

4. **Observații calitative:** În timpul acestor măsurători, probabil veți observa că pendulul nu menține exact aceeași amplitudine. În decursul celor 10 oscilații cronometrate, oscilațiile se micșorează ușor în deschidere. Deși acest efect nu influențează prea mult perioada (pentru unghiuri mici, perioada rămâne aproape constantă chiar dacă amplitudinea scade), este un indiciu al amortizării, despre care vom vorbi imediat. De asemenea, asigurați-vă că oscilațiile pendulului rămân plane; dacă firul se răsucesce sau bobul începe să descrie o elipsă, opriți experimentul și reporniți, deoarece mișcarea ne-plană complică analiza.

3. Observarea amortizării și determinarea factorului Q

După ce ați măsurat perioada, puteți lăsa pendulul să continue să oscileze liber și veți observa treptat cum amplitudinea scade. Acum ne concentrăm pe acest fenomen de **amortizare** și vom cuantifica cât de repede își pierde pendulul energia, calculând factorul Q .

Observație calitativă: Notați vizual amplitudinile oscilațiilor succesive. De exemplu, dacă inițial pendulul avea un unghi de $\sim 10^\circ$, după câteva minute veți vedea că oscilează cu un unghi mult mai mic. Practic, la fiecare oscilație pendulul pierde o mică parte din energie (transformată în frecare aerodinamică sau căldură la nivelul firului).

Pentru a măsura cantitativ amortizarea, există mai multe metode, în funcție de echipamentele disponibile:

- **Metoda cronometrării timpului de amortizare:** Alegeți o fracțiune a amplitudinii inițiale (de exemplu *jumătate* din amplitudine) și măsurați cât timp îi trebuie pendulului să ajungă la acea amplitudine. De exemplu, dacă pendulul a pornit de la 10° și după ~ 3 minute ajunge la $\sim 5^\circ$, puteți estima că în 3 minute amplitudinea a scăzut la jumătate. Acest timp corespunde câtorva zeci de oscilații (puteți determina și câte oscilații au avut loc în acel interval, știind T). Din acest tip de măsurătoare se poate deriva Q aproximativ: dacă amplitudinea scade cu un factor de 2 în N oscilații, atunci logaritmul decrementei $\delta = \ln(A_0/A_N) = \ln(2)$ și se poate arăta că $Q \approx \pi N / \ln(A_0/A_N)$. În exemplul nostru numeric, $\ln(2) = 0,693$; dacă în 3 minute pendulul a făcut ~ 90 de oscilații, atunci $Q \approx \pi \cdot 90 / 0,693 \approx 408$. Observăm că Q este destul de mare – pendulul efectuează multe oscilații până să-și diminueze mult amplitudinea, ceea ce corespunde amortizării slabe. (Notă: O definiție aproximativ echivalentă este că Q este circa numărul de oscilații necesare pentru ca energia să

se disipe complet (IOP 2025). Energia scade cu factorul $e^{-2\pi}$ după Q oscilații, deci dacă Q este ~ 400 , după 400 de oscilații energia scade de ~ 535 de milioane de ori; practic pendulul se oprește mult mai devreme din cauza forțelor statice, dar asta oferă ordinea de mărime.)

- **Metoda logaritmului decrementului:** O tehnică mai precisă este să **măsurați amplitudinile a mai multor oscilații consecutive**. De exemplu, filmați pendulul sau observați poziția extremă față de un reper. Puteți marca pe fundal poziția maximă atinsă de pendul pentru primele, să zicem, 10 oscilații. Veți obține o serie de amplitudini: $A_0, A_1, A_2, \dots, A_{10}$. Pentru amortizare exponențială, raportul amplitudinilor succesive ar trebui să fie constant: $A_{n+1}/A_n = e^{-\delta}$ (unde δ se numește decrement logaritm). Calculați $\ln(A_n/A_{n+1})$ pentru câteva valori n și faceți media – veți obține δ (aproximativ constant). Apoi factorul Q se poate obține din relația $Q \approx \pi/\delta$ pentru amortizare ușoară. Alternativ, dacă luați direct A_0 și A_N după N oscilații: $Q \approx \pi N / \ln(A_0/A_N)$, cum am menționat mai sus. De exemplu, dacă la oscilația 0 amplitudinea unghiulară era 10° , iar la oscilația 20 amplitudinea a scăzut la 3° , atunci $A_0/A_{20} \approx 10/3 \approx 3,33$, $\ln(3,33) = 1,20$, $N = 20$, deci $Q \approx \pi \cdot 20 / 1,20 \approx 52$. (Acesta este un exemplu fictiv cu amortizare mai puternică; un pendul real probabil va avea un Q mai mare.)
- **Metoda fitului exponențial (analiză digitală):** Dacă ați înregistrat video sau cu senzorii, puteți obține o mulțime de puncte (amplitudine vs. timp sau vs. numărul oscilațiilor). Reprezentați grafic amplitudinea în funcție de timp și verificați dacă punctele se aliniază pe o curbă exponențială. De exemplu, în graficul cu anvelopa roșie de mai sus, amplitudinea maximă scade ca $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$. Determinând constantă de timp τ (de exemplu, timpul la care amplitudinea scade la $\sim 37\%$ din valoarea inițială), puteți calcula Q . Relația teoretică pentru un pendul amortizat slab este $Q = \omega_0 \tau$, unde $\omega_0 = 2\pi/T$ este pulsația naturală neamortizată. Deci, dacă din fitul exponențial reiese $\tau = 60$ s și pendulul are $T = 2$ s ($\omega_0 \approx 3,14$ s $^{-1}$, atunci $Q \approx 3,14 \cdot 60 \approx 188$.

Indiferent de metodă, **factorul Q** al pendulului dumneavoastră va rezulta probabil de câteva sute. Un Q ridicat confirmă că pendulul este foarte puțin amortizat (pierde doar o mică fracțiune din energie pe oscilație). Spre exemplu, un pendul de ceas lung are Q de ordinul 500–1000 în aer (IOP 2025). Dacă doriți, puteți compara amortizarea pendulului în diferite medii: de exemplu, oscilați același pendul cu bobul cufundat parțial în apă – veți observa o scădere dramatică a lui Q (pendulul se oprește mult mai repede, deci Q este mult mai mic, ceea ce indică amortizare puternică datorită vâscozității apei).

Notă: Factorul Q nu are unități și este legat de pierderea de energie per ciclu. Dacă Q este foarte mare, metodele de mai sus pot avea incertitudini mari (diferențe mici între amplitudini succesive sunt greu de măsurat). În astfel de cazuri, puteți crește unghiul inițial puțin (ceea ce crește forțele de rezistență ale aerului și reduce Q) sau puteți atașa o mică **aripioară de hârtie/carton** pe bob pentru a crește amortizarea, măsurând apoi Q al sistemului cu amortizare suplimentară.

Extinderi și discuții suplimentare

Experimentul descris este realizabil acasă cu mijloace simple și se pot obține rezultate surprinzător de bune. Pentru elevii de liceu, el consolidează concepte de bază de oscilații (perioadă,

dependența de lungime, conservarea energiei și pierderile de energie prin frecare). Cei interesați pot explora și mai departe, inclusiv aspecte mai avansate sau aplicații la nivel universitar:

- **Pendulul compus (pendulul fizic rigid):** În loc de un fir cu bob, puteți folosi un corp rigid (o bară, o riglă, o tijă fixă mare etc.) suspendat de un capăt ca pendul. În acest caz, formula perioadei diferă deoarece masa este distribuită de-a lungul pendulului, nu concentrată într-un punct. Perioada unui pendul compus este dată de $T = 2\pi\sqrt{I_0/mgd}$, unde I_0 este momentul de inerție al corpului față de axa de rotație, iar d este distanța de la axă la centrul de masă (Wikipedia 2025h). De exemplu, pentru o bară uniformă de lungime L pivotată la un capăt, $I_0 = 1/3 mL^2$ și $d = L/2$. Introducând acestea, rezultă $T = 2\pi\sqrt{(1/3 mL^2)/(mg(L/2))} = 2\pi\sqrt{(3/2)L/g}$. Cu alte cuvinte, o bară rigidă are aceeași perioadă ca un pendul simplu de lungime $2/3 L$ (Wikipedia 2025h). Puteți testa acest lucru: construiți un pendul cu o riglă de 1 m și măsurați-i perioada; apoi găsiți ce lungime de fir produce aceeași perioadă. (Pendulul compus este relevant în pendulele de precizie: de exemplu, pendulul reversibil Kater folosește două puncte de suspensie pentru a determina g foarte precis.)
- **Efectul amplitudinii mari (oscilații neliniare):** Pentru unghiuri de oscilație mari, pendulul nu mai urmează legea simplificată (1). Perioada crește ușor cu amplitudinea inițială. Extinzând teoria, perioada exactă a pendulului este $T = 2\pi\sqrt{L/g} \cdot 1/\sqrt{1 - \sin^2(\theta_0/2)}$ (folosind funcția integrală eliptică) – o formulare complicată, dar se poate aproxima în serie de puteri: $T \approx 2\pi\sqrt{L/g} (1 + \theta_0^2/16 + 11\theta_0^4/3072 + \dots)$. Primul termen de corecție θ_0^2 arată că la amplitudini moderate, creșterea perioadei e mică (Eclat 2025) (la 20° creșterea este $\sim 1,5\%$, la $45^\circ \sim 5\%$). Puteți verifica experimental: cronometrați perioada pendulului pentru un unghi inițial mic ($\sim 5^\circ$) și pentru un unghi mare ($\sim 40^\circ$) folosind aceeași lungime L . Veți observa că pendulul cu unghi mare oscilează puțin mai lent. Acesta este un comportament neliniar; la nivel universitar se poate discuta despre energia potențială a pendulului ($E_p = mgL(1 - \cos\theta)$) și despre ecuația diferențială neliniară $\theta'' + g/L \sin\theta = 0$ al cărei timp de soluție nu este strict periodică simplă. Un efect asociat interesant: la amplitudini foarte mari (ex. peste 90°) pendulul își petrece o parte semnificativă a traiectoriei “cățărât” contra gravitației, astfel încât perioada crește vizibil.
- **Studiu avansat al amortizării:** La nivel de facultate, se poate investiga natura forțelor de rezistență la înaintare. Pentru pendule care se deplasează lent prin aer, forța de rezistență este aproximativ proporțională cu viteza (damping liniar, $F_d = -bv$), ceea ce duce la scăderea exponențială discutată și un Q independent de amplitudine. Pentru viteze mai mari sau obiecte mai puțin aerodinamice, rezistența aerului crește cu pătratul vitezei ($F_d \propto v^2$), caz în care amortizarea devine neliniară – Q poate depinde de amplitudine (oscilațiile mari pierd energie mai rapid decât cele mici). Un experiment avansat ar fi măsurarea amplitudinilor pe parcursul timpului și încercarea unui fit cu model de amortizare vâscoasă vs. amortizare cu v^2 . De exemplu, un student la nivel universitar a constatat pentru un pendul cu bob sticlă (sticlă cu apă) $Q \sim 310$ asumând model liniar, dar a obținut o descriere mai bună a datelor folosind un model quadratic de rezistență a aerului (Xue 2020). Acest tip de analiză implică cunoștințe de ecuații diferențiale și ajustare a datelor, dar demonstrează frumusețea ascunsă în mișcarea aparent simplă a pendulului.

În concluzie, experimentul pendulului fizic permite explorarea unei varietăți de fenomene fizice: de la relația perioadă-lungime folosită istoric la măsurarea gravitației, până la comportamentul sistemelor oscilații amortizate și concepte de rezonanță (un pendul cu Q mare are un vârf de rezonanță ascuțit dacă ar fi forțat periodic). Cu echipamente simple și, eventual, ajutat de tehnologia smartphone-urilor moderne, puteți măsura cu precizie timpii de oscilație (la nivel de milisecundă) (Eclat 2025) și variația amplitudinii, obținând o confirmare experimentală a teoriei și o intuiție mai puternică despre mișcarea oscilatorie. Fie că îl realizați în sufragerie sau în laborator, pendulul rămâne o experiență fundamentală și captivantă în studiul fizicii.

Fișă de laborator

Titlul experimentului

Determinarea accelerației gravitaționale și a factorului de calitate Q folosind pendulul simplu.

Scopul lucrării

- Măsurarea perioadei pendulului în funcție de lungime pentru a determina g .
- Observarea amortizării oscilațiilor și calculul factorului Q .

Noțiuni teoretice

- Perioada pendulului simplu:

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}, \quad g = 4\pi^2 L/T^2$$

- Amortizare: amplitudinea scade treptat din cauza pierderii de energie (frecare cu aerul, la suspensie).
- Factorul de calitate:

$$Q \approx \pi N / \ln(A_0/A_N)$$

unde A_0 = amplitudinea inițială, A_N = amplitudinea după N oscilații.

Materiale necesare

- Fir de 0,5–1,5 m.
- Bob (obiect mic și greu: piuliță, șurub etc.).
- Suport fix (toc de ușă, stativ).
- Cronometru (sau aplicație de pe telefon).
- Riglă/ruletă pentru măsurarea lungimii.
- (Opțional) Telefon pentru filmare sau aplicații de analiză video.

Desfășurarea lucrării

5. Montați pendulul (fir + bob). Măsurați lungimea L (până la centrul bobului).
6. Deplasați bobul cu un unghi mic ($< 10^\circ$) și eliberați fără a împinge.
7. Cronometrați timpul pentru 10 oscilații complete $\rightarrow$ calculați perioada T .
8. Repetați pentru 3–5 lungimi diferite. Notați valorile într-un tabel.
9. Lăsați pendulul să oscileze liber și observați scăderea amplitudinii.
10. Notați amplitudinea inițială A_0 și amplitudinea A_N după un anumit număr N de oscilații.

11. Calculați Q folosind formula de mai sus.

Tabele de date

Tabel 1 – Perioada în funcție de lungime

L (m) Timp pentru 10 oscilații (s) T (s) T^2 (s^2)

Tabel 2 – Amplitudinea oscilațiilor

Nr. oscilații Amplitudinea ($^\circ$ sau cm)

0 (inițial)

N

Prelucrarea datelor

- Reprezentați grafic T^2 în funcție de L .
- Determinați panta și calculați $g = 4\pi^2/\text{panta}$.
- Folosiți datele din tabelul 2 pentru a calcula Q .

Întrebări pentru elevi

- Cum depinde perioada de lungimea firului?
- Masa bobului influențează perioada? De ce?
- De ce trebuie ca unghiul inițial să fie mic?
- Ce semnifică factorul Q obținut?

Cuprins

Importanța și rolul experimentelor de fizică în educație

- Introducere
- Fundamente teoretice ale învățării prin experiment
- Exemple de experimente de laborator în predarea fizicii
- Experimente digitale și virtuale ca instrumente complementare
- Impactul pedagogic al experimentelor asupra învățării științelor
- Provocările implementării experimentelor de fizică în educație
- De ce experimente de fizică?

Pendulul fizic și factorul Q

Planul înclinat și coeficientul de frecare μ

Determinarea vitezei sunetului în aer prin rezonanță

Legea lui Ohm și „focul din grafit”

Determinarea constantei lui Planck folosind LED-uri

Legea lui Snell și unghiul Brewster

Difracție cu CD/DVD

Cădere liberă cu video-tracking

Viscozitate și legea lui Stokes

Legea răcirii lui Newton

Oscilator masă-arc și rezonanță

Legea inversului pătratului pentru lumină

Inducție electromagnetică „de masă”

Spectrul vibrațiilor unei corzi întinse – analiza Fourier

Balistică video: determinarea unghiului optim de lansare

Kituri educaționale

- Clasele primare (6–10 ani)

- Gimnaziu (11–14 ani)

- Liceu (15–18 ani)

Experimente amuzante cu provocări de investigație

Experimente simple, sigure și amuzante

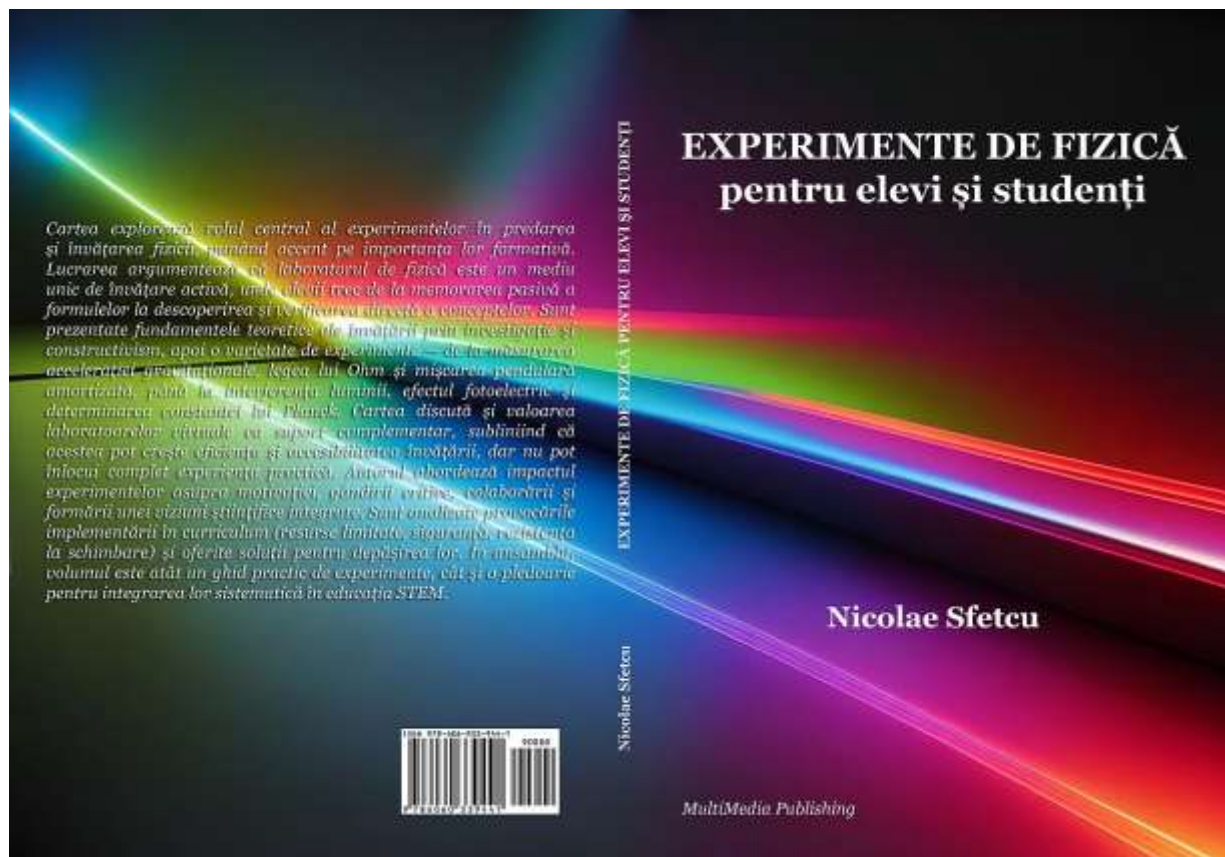
Construcții

- Cum construiești un zmeu (și de ce zboară, de fapt)

- Construirea unui telescop reflector newtonian

Bibliografie

Cartea



Cartea care transformă teoria în experimente clare, sigure și ușor de pus în practică

De ce îți va plăcea

- **Peste o duzină de lucrări de laborator** explicate pas cu pas, de la mecanică și termodinamică, la electricitate, optică și unde. Fiecare lucrare vine cu scop, materiale, procedură, tabele de date și întrebări pentru discuție — exact ce îți trebuie pentru ore sau seminare reușite.
- **Ghid didactic complet** despre rolul experimentelor în învățare, impactul lor asupra motivației și gândirii critice, plus provocări și soluții pentru integrarea în curriculum.
- **Alternanță ideală între clasic și modern:** experimente hands-on + idei digitale (video-tracking, senzori, simulări), astfel încât elevii să înțeleagă și să iubească fizica.

Ce găsești în carte (selecție)

- **Pendulul fizic și factorul Q:** de la măsurarea lui g până la amortizare și extinderi. Include fișă de laborator completă.
- **Plan înclinat & frecare (μ):** procedură la nivel de liceu, grafice, idei de extindere și măsurători asistate de calculator.

- **Viteza sunetului în aer prin rezonanță:** unde staționare, identificarea nodurilor/antinodurilor, măsurători în gaze diferite și siguranță.
- **Legea lui Ohm & „focul din grafit”:** verificare U-I, efect Joule, incandescență, plus fișă didactică.
- **Constanta lui Planck cu LED-uri:** montaj accesibil, prelucrare de date și discuții despre erori sistematice.
- **Legea răcirii lui Newton și oscilator masă-arc & rezonanță** cu determinarea factorului Q .
- **Legea inversului pătratului pentru lumină, inducție electromagnetică „de masă”, corzi întinse & analiza Fourier** — cu proceduri și fișe de laborator.
- **Difracție cu CD/DVD** (optică distractivă și precisă) — pași experimentali, extensii și rubrică de evaluare pentru profesori.
- **Cădere liberă cu video-tracking:** cum măsoară g dintr-un clip, inclusiv modele de tabele și analiză a incertitudinii.
- **Kituri educaționale** structurate pe vârste (primar/gimnaziu/liceu), cu bugete realiste, gata de folosit în clasă sau acasă.
- Bonus „DIY”: **Construirea unui telescop reflector newtonian** — ghid pas cu pas pentru proiecte STEM ambițioase.

Pentru cine este

- **Profesori de fizică** care vor laboratoare gata de aplicat și fișe structurante.
- **Elevi și studenți** care vor să înțeleagă conceptele prin măsurători reale, nu doar din formule.
- **Cluburi STEM / maker spaces** în căutare de proiecte sigure, atractive și cu impact.

Ce obții concret

- **Rețete de laborator** pas cu pas, cu liste de materiale ușor de procurat și recomandări de siguranță.
- **Modele de tabele, grafice și pași de analiză** pentru note curate și concluzii solide.
- **Extensii pentru nivel universitar** și idei de evaluare, ca să urci nivelul când clasa este pregătită.

Comandă

Gata să treci de la „teorie” la „se vede și se măsoară”?

Cumpără acum „Experimente de fizică pentru elevi și studenți” și pregătește următorul laborator memorabil!

„Experimente de fizică pentru elevi și studenți” de Nicolae Sfetcu explorează rolul central al experimentelor în predarea și învățarea fizicii, punând accent pe importanța lor formativă. Lucrarea argumentează că laboratorul de fizică este un mediu unic de învățare activă, unde elevii trec de la memorarea pasivă a formulelor la descoperirea și verificarea directă a conceptelor. Sunt prezentate fundamentele teoretice ale învățării prin investigație și constructivism, apoi o varietate de experimente — de la măsurarea accelerației gravitaționale, legea lui Ohm și mișcarea pendulară amortizată, până la interferența luminii, efectul fotoelectric și determinarea constantei lui Planck. Cartea discută și valoarea laboratoarelor virtuale ca suport complementar, subliniind că acestea pot crește eficiența și accesibilitatea învățării, dar nu pot înlocui complet experiența practică. Autorul abordează impactul experimentelor asupra motivației, gândirii critice, colaborării și formării unei viziuni științifice integrate. Sunt analizate provocările implementării în curriculum (resurse limitate, siguranță, rezistența la schimbare) și oferite soluții pentru depășirea lor. În ansamblu, volumul este atât un ghid practic de experimente, cât și o pledoarie pentru integrarea lor sistematică în educația STEM.

MultiMedia Publishing <https://www.telework.ro/ro/e-books/experimente-de-fizica-pentru-elevi-si-studenti/>

– Digital: EPUB (ISBN 978-606-033-945-8), Kindle (ISBN 978-606-033-946-5), PDF (ISBN 978-606-033-947-2)

– Tipărit: Format B5 250 x 176 x xxx mm, xxx g, xxx pagini, ISBN 978-606-033-944-1

[DOI: 10.58679/MM46997](https://doi.org/10.58679/MM46997)

Bibliografie

- Aapt. 2020. „Labs 06 and 07: Using Tracker for conducting video analysis of oscillating objects”. <https://advlabs.aapt.org/wiki/File%3A5554>.
- Adamfl35. 2016. „Light From a Pencil Lead (Graphite)”. Instructables. <https://www.instructables.com/Light-From-a-Pencil-Lead-Graphite/>.
- André, Paulo, Ana Rita Bastos, și Rute Ferreira. 2021. „Faraday’s Law of Induction: From Classroom to Kitchen”. *Scienceinschool.Org*. <https://scienceinschool.org/article/2021/faradays-law-induction-classroom-kitchen/>.
- Arborsci. 2017. „Homopolar Motor Kit, Build 10 Complete Motors”. Arbor Scientific. <https://www.arborsci.com/products/homopolar-motor-kit>.
- Arduino. 2025. „Arduino Science Kit”. <https://www.arduino.cc/education/science-kit/>.
- Astronomy. 2008. „(re) constructie telescop Newton”. <https://www.astronomy.ro/forum/viewtopic.php?p=27301>.
- Balachandran, Rama, și Karen Porter-Davis. 2009. „Using CDs and DVDs as Diffraction Gratings”. https://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/Karen_Rama_USING_CDs_AND_DVDs_AS_DIFFRACTION_GRATINGS_0.pdf.
- Belay, A, și G Assefa. 2018. „Concentration, Wavelength and Temperature Dependent Refractive Index of Sugar Solutions and Methods of Determination Contents of Sugar in Soft Drink Beverages using Laser Lights”. *Journal of Lasers, Optics & Photonics* 5 (187). <https://www.hilarispublisher.com/open-access/concentration-wavelength-and-temperature-dependent-refractive-indexof-sugar-solutions-and-methods-of-determination-contents-of-sug-2469-410X-1000187.pdf>.
- Bresser. 2012. „Telescop reflector 76/350 mm Dobson National Geographic”. <https://www.germanelectronics.ro/auto-hobby-electrocasnice/camping-outdoor/binocluri-telescoape-echipamente-optice/telescoape/telescop-reflector-76/350-mm-dobson-national-geographic-861024.html>.
- Byjus. 2025. „Coefficient of Viscosity”. BYJUS. <https://byjus.com/physics/to-determine-the-coefficient-of-viscosity-of-given-viscous-liquid-by-measuring-terminal-velocity-of-given-spherical-body/>.
- Carolina. 2022. „Newton’s Law of Cooling”. *Carolina Knowledge Center*, august 24. <https://knowledge.carolina.com/discipline/interdisciplinary/math/newtons-law-of-cooling/>.
- Carter, Candice, CPT John Paul Hood, Dr Hans C. Mumm, et al. 2022. *DE Weapons, Projectiles, Damage*. mai 9. <https://kstatelibraries.pressbooks.pub/drone-delivery/chapter/9-kinetic-energy-weapons/>.

- CasualEndvrs. 2020. „Measure Planck’s Constant at Home using an Arduino and some LEDs”. Reddit Post. r/arduino, decembrie 26. https://www.reddit.com/r/arduino/comments/kkmjiw/measure_plancks_constant_at_home_using_an_arduino/.
- Cei 4. 2025. „Tuburi Sonore”. Tuburi Sonore. <https://proiect4fantastici.weebly.com/>.
- Ciobanu, Nellu, Viorica Tonu, și Victor Vovc. 2022. „FIZICĂ OPTICĂ CU ELEMENTE DE OPTICĂ GEOMETRICĂ”. https://fiziologie.usmf.md/sites/default/files/inline-files/Fizica%20optica_Ciobanu_CIP.pdf.
- CliffNotes. 2024. „Projectile Motion Video Analysis (Docx) - CliffsNotes”. <https://www.cliffsnotes.com/study-notes/3785281>.
- CNIC. 2016. „Olimpiada Națională de Fizică, Timișoara, 2016 - Proba practică”. https://www.cnic.ro/olimpiade/docs/2016_ONF_12_lab_subiect.pdf.
- Constantin, Lucian. 2022. *10 descoperiri ale lui Isaac Newton care au schimbat lumea și modul în care o înțelegem*. Noutăți. iulie 5. <https://techcafe.ro/noutati/10-descoperiri-ale-lui-isaac-newton-care-au-schimbat-lumea-si-modul-in-care-o-intelegem/>.
- Conway. 2023. „Projectile motion: optimal launch angle for weak quadratic drag | Conway’s site”. <https://yawnoc.github.io/math/projectile-weak-drag>.
- Danielle. 2016. „Floating Needle Compass Science Experiment”. *Cool Science Experiments Headquarters*, mai 16. <https://coolscienceexperimentshq.com/floating-needle-compass/>.
- De Jong, Ton, Marcia C. Linn, și Zacharias C. Zacharia. 2013. „Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education”. *Science* 340 (6130): 305-8. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>.
- DeWeerd, Alan J. 2018. „CD, DVD, and Blu-Ray Disc Diffraction with a Laser Ray Box”. <https://physlab.org/wp-content/uploads/2018/09/DeWeerd2016.pdf>.
- Didactopia. 2025. *Electroscop mare Kolbe - Pentru demonstrații de Electrostatică - Cu scală și indicator din carbon • Didactopia*. <https://didactopia.ro/stiinta-stem/experimente-fizica-chimie/electricitate/electroscop-mare-kolbe-pentru-demonstratii-de-electrostatica-cu-scala-si-indicator-din-carbon/>.
- Digital, ProGrade. 2024. „Inverse Square Law in Photography”. *ProGrade Digital*, iunie 12. <https://progradedigital.com/understanding-and-using-the-inverse-square-law-in-photography/>.
- Eclat. 2025. „Measuring g Using a Smartphone Pendulum for A-Level Physics Practicals”. *Measuring g Using a Smartphone Pendulum for A-Level Physics Practicals*. <https://eclatinstitute.sg/blog/Measuring-g-Using-Smartphone-Pendulum>.

- Education. 2025. „Lenz’s Law: Magnet Through a Copper Tube | Activity | Education.Com”.
<https://www.education.com/activity/article/copper-magnetic-affect-falling-magnet/>.
- Efron, B. 1979. „Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife”. *The Annals of Statistics* 7 (1): 1-26. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>.
- Elert, Glenn. 2025. „Resonance”. În *The Physics Hypertextbook*. Hypertextbook.
<https://physics.info/resonance/>.
- Elmesery, Muhamed. 2023. *Determine the Coefficient of Viscosity Using Stoke’s Method*. Virtual Learning Articles. august 29. <https://praxilabs.com/en/blog/2023/08/29/coefficient-of-viscosity-using-stokes-method/>.
- Engineeringtoolbox. 2003. „Resistivity and Conductivity - Temperature Coefficients Common Materials”. https://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html.
- Feynman, Richard. 1963. „The Feynman Lectures on Physics Vol. I Ch. 23: Resonance”.
https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_23.html.
- Fiveable. 2025. „Double-Slit Interference and Diffraction Gratings – AP Physics 2 Review”.
 Fiveable. <https://library.fiveable.me/ap-physics-2-revised/unit-14/8-double-slit-interference-and-diffraction-gratings/study-guide/K1umdgpBDu7M2fEs>.
- Fizichim. 2025a. „Determinarea coeficientului de frecare cu ajutorul planului înclinat. | Fizichim”.
<https://www.fizichim.ro/docs/fizica/clasa9/capitolul3-principii-si-legi-in-mecanica-clasica/III-6-legile-frecarii-la-alunecare/III-6-4-determinare-coeficientului-de-frecare-cu-ajutorul-planului-inclinat/>.
- Fizichim. 2025b. „Legile frecării la alunecare. | Fizichim”.
<https://www.fizichim.ro/docs/fizica/clasa9/capitolul3-principii-si-legi-in-mecanica-clasica/III-6-legile-frecarii-la-alunecare/III-6-2-legile-frecarii-la-alunecare/>.
- Flinn. 2016. „An Activity You Can’t Resist”.
<https://www.flinnsci.ca/api/library/Download/f685c456a24b4886a835ebe5b9096cf5>.
- Furnissa. 2025. „Determinarea constantei lui Plank”. *Furnissa.ro*.
<https://www.furnissa.ro/determinarea-constantei-lui-plank/>.
- GabrielR58. 2016. „Recycled Newtonian Telescope”. Instructables.
<https://www.instructables.com/Recycled-Newtonian-Telescope/>.
- González, Manuel Á, și Miguel Á González. 2016. „Smartphones as Experimental Tools to Measure Acoustical and Mechanical Properties of Vibrating Rods”. *European Journal of Physics* 37 (4): 045701. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/4/045701>.
- Griffith, Jakob. 2009. „Better Resistors From A Pencil”. *Hackaday*, decembrie 20.
<https://hackaday.com/2009/12/20/better-resistors-from-a-pencil/>.

- Halder, Ashadul, și Shibaji Banerjee. 2025. „Bridging the Gap Between Virtual and Physical Laboratories: A Web-Based Interactive Platform for Undergraduate Physics Practicals”. arXiv:2507.10286. Preprint, arXiv, iulie 14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.10286>.
- Hare, J. P. 2002. „PERHAPS THE SIMPLEST HOMEMADE ELECTRICAL GENERATOR IN THE WORLD”. <https://www.creative-science.org.uk/gensimple1.html>.
- Hare, Jonathan. 2002. „DC CONVERTER AND ELECTRICAL STORAGE FOR SHAKE-A-GEN”. <https://www.creative-science.org.uk/gensimple2.html>.
- Heck, André, și Peter Uylings. 2010. „In a Hurry to Work with High-Speed Video at School?” *The Physics Teacher* 48 (3): 176-81. <https://doi.org/10.1119/1.3317451>.
- Hofstein, Avi, și Vincent Lunetta. 2004. „The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century”. *Science Education* 88 (ianuarie): 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>.
- Homesciencetools. 2025. „4M Water Rocket Kit”. Home Science Tools. <https://www.homesciencetools.com/product/4m-water-rocket-science-kit/>.
- Hscprep. 2024. „Optimal Angle for Maximum Projectile Range - HSC Physics”. <https://hscprep.com.au/hsc-physics/optimal-angle-for-maximum-projectile-range>.
- HyperPhysics. 2025. *Introduction: Periodic Motion*. <https://www.lehman.edu/faculty/anchordoqui/chapter23.pdf>.
- IOP. 2025. „Forced Vibrations and Resonance | IOPSpark”. <https://spark.iop.org/collections/forced-vibrations-and-resonance>.
- Kotsis, Konstantinos T. 2024. „The Significance of Experiments in Inquiry-Based Science Teaching”. *European Journal of Education and Pedagogy* 5 (2): 86-92. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2024.5.2.815>.
- Kurtzepp. 2016. „BUILDING a DOBSONIAN TELESCOPE MOUNT”. Instructables. <https://www.instructables.com/BUILDING-a-DOBSONIAN-TELESCOPE-MOUNT/>.
- Lectii-Virtuale. 2025. „Polarizarea luminii: definiție și metode de obținere. Legile Brewster și Malus.” *Lectii Virtuale*. <https://lectii-virtuale.ro/teorie/polarizarea-luminii-definitie-si-metode-de-obtinere-legile-brewster-si-malus>.
- Llnl. 2025. „Physics with Phones | Science and Technology”. <https://st.llnl.gov/sci-ed/Physics-with-Phones>.
- Logiscool. 2020. „Cele mai cool experimente stiintifice si creative pentru copii - Logiscool”. <https://www.logiscool.com/ro/blog/ghid/experimente-copii>.
- Mace, Nina. 2017. „Photographing Children: Tips for Creating Interesting Light Indoors”. *Www.Ninamacephotography.Com*, aprilie 18.

- <https://www.ninamacephotography.com/photographing-children-tips-for-creating-interesting-light-indoors/>.
- MagLab. 2025. „Electromagnetic Induction - Magnet Academy”. <https://nationalmaglab.org/magnet-academy/watch-play/interactive-tutorials/electromagnetic-induction/>.
- Margean, Raluca. 2024. „Experimente pentru copii de facut acasa sau in clasa | Wowlab.ro”. *Wow Lab*, septembrie 24. <https://wowlab.ro/experimente-pentru-copii-de-facut-acasa-sau-in-clasa/>.
- Meremail. 2008. *CD Spectroscope*. iulie 27. Photo. <https://www.flickr.com/photos/meremail/2724969808/>.
- Meyer, Jörg. 2025. „CD Spectroscope: Light & Astronomy Science Activity | Exploratorium Teacher Institute Project”. mai 29. <https://www.exploratorium.edu/snacks/cd-spectroscope>.
- Mrsphysics. 2003. „Finding Planck’s constant with LEDs”. SSERC Bulletin. https://www.mrsphysics.co.uk/higher/wp-content/uploads/2018/02/13-14_Plancks_Constant_with_LEDs.pdf.
- Nadolschi, Victor. 2004. „Construiti Un Telescop | PDF”. Scribd. <https://fr.scribd.com/document/787806616/Construiti-Un-Telescop>.
- NirL. 2020. „Resistors Class - Draw Resistors Using a Pencil (Suggested Experiments Included)”. Instructables. <https://www.instructables.com/Resistors-Class-Draw-Resistors-Using-a-Pencil-Sugg/>.
- NNCI. 2020. „CD and DVD as Diffraction Gratings”. https://nnci.net/sites/default/files/2020-02/CD_DVD_Diffraction%20grating_Part%201_SG_answers_0.pdf.
- Olson, Andrew, și David Aziz. 2020. „Using a Laser Pointer to Measure the Data Track Spacing on CDs and DVDs | Science Project”. Science Buddies. https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Phys_p011/physics/using-a-laser-pointer-to-measure-the-data-track-spacing-on-cds-and-dvds.
- OpenCV. 2025. „Camera Calibration”. https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html?utm_source=chatgpt.com.
- OSP. 2025. „Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education”. https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/?utm_source=chatgpt.com.
- Oth, Luc, Paul Furgale, Laurent Kneip, și Roland Siegwart. 2013. „Rolling Shutter Camera Calibration”. *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, iunie, 1360-67. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2013.179>.

- PERG. 2001. „Using LEDs to Measure Planck’s Constant”.
https://www.phys.ksu.edu/ksuper/research/vqm/original/solids-light/12Meas_Plancks_Constant.pdf.
- Perimeter, Institute. 2008. „Measuring Planck’s Constant”.
<https://www.mrsphysics.co.uk/higher/wp-content/uploads/2018/02/Plancks-Constant-Teachers-Guide.pdf>.
- Physicsclassroom. 2025a. „Physics Tutorial: Closed-End Air Columns”.
<https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-5/Closed-End-Air-Columns>.
- Physicsclassroom. 2025b. „Physics Tutorial: Fundamental Frequency and Harmonics”.
<https://www.physicsclassroom.com/class/sound/lesson-4/fundamental-frequency-and-harmonics>.
- Price, Richard H., și Joseph D. Romano. 1998. „Aim high and go far—Optimal projectile launch angles greater than 45° ”. *American Journal of Physics* 66 (2): 109-13.
<https://doi.org/10.1119/1.18804>.
- Przemek13. 2013. „Co siedzi w rezystorze Duelund”. Audiostereo.pl, august 13.
<https://www.audiostereo.pl/topic/105012-co-siedzi-w-rezystorze-duelund/>.
- Randolphcollege. 2025. „Resonance Lab”.
<https://physics.randolphcollege.edu/psheldon/classes/p3332/Labs/Resonance/index.htm>.
- reddittuser. 2016. „Hi guys, is there any app to measure light wavelength (or spectrum of light)? Using camera or by any means..?” Reddit Post. r/androidapps, iunie 19.
https://www.reddit.com/r/androidapps/comments/4osbe3/hi_guys_is_there_any_app_to_measure_light/.
- Rute, Maria, și Paulo Sérgio. 2014. „Fundamente Pentru Ora de Clasă: Măsurarea Constantei Lui Planck”. *Science in School*. <https://www.scienceinschool.org/article/2014/planck/>.
- Ryer, Alexander D. 1997. „Basic Light Measurement Principles - Chapter 6 - Light Measurement Tutorial | ILT”. https://internationallight.com/basic-light-measurement-principles-chapter-6-light-measurement-tutorial?srsId=AfmBOoqmlfGvfXvg4O_Amr2c_f7FNvPR6y9Qw4oV323ecfmnnNhM0fKv.
- Scactivities. 2015. *Background – Pencil Lead Light Bulb*. <https://scactivities.cikeys.com/pencil-lead-lightbulb/background/>.
- ScienceBob. 2014. „MAKE AN ELECTROMAGNET”. *ScienceBob.Com*, iunie 26.
<https://sciencebob.com/make-an-electromagnet/>.
- Seemann, Lars, și Mila Bersabal. 2013. „Estimating the Storage Capacity of a CD/DVD - Activity”. TeachEngineering.Org.
https://www.teachengineering.org/activities/view/uoh_diffraction_activity1.

- Sfetcu, Nicolae. 2018a. „Difracția luminii”. *MultiMedia*, februarie 18. <https://www.telework.ro/ro/difractia-luminii/>.
- Sfetcu, Nicolae. 2018b. „Refracția - MultiMedia”. <https://www.telework.ro/ro/refractia/>.
- Sfetcu, Nicolae. 2018c. *Unde staționare* - *MultiMedia*. Lumina. februarie 20. <https://www.telework.ro/ro/unde-stationare/>.
- Sfetcu, Nicolae. 2022. *Viteza sunetului în aer* - *MultiMedia*. Acustica. septembrie 28. <https://www.telework.ro/ro/viteza-sunetului-in-aer/>.
- Sfetcu, Nicolae. 2023. „Inducția electromagnetică - Legea lui Faraday”. *MultiMedia*, februarie 11. <https://www.telework.ro/ro/inductia-electromagnetica-legea-lui-faraday/>.
- Singh, Jitender. 2019. „Stokes Law and Terminal Velocity (Formula, Solved Problems)”. <https://www.concepts-of-physics.com/mechanics/stokes-law-and-terminal-velocity.php>.
- Soldigo. 2025a. „Construcție și piese pentru telescop - Accesorii telescop”. [//telescope-expert.ro/construcție-si-piese_c_16800](https://telescope-expert.ro/construcție-si-piese_c_16800).
- Soldigo. 2025b. „Focalizatoare pentru telescoape astronomice - Accesorii telescop”. [//telescope-expert.ro/focalizatoare_c_17118?sort=price_asc](https://telescope-expert.ro/focalizatoare_c_17118?sort=price_asc).
- Soldigo. 2025c. „Oglinda Principală”. Magazinul de telescoape, microscopice și binocluri - Telescop Expert. https://telescope-expert.ro/oglinde-principale_115542/.
- Starmax. 2025. „Colimarea unui telescop reflector newtonian - Centrul de educație în astronomie și microscopie”. https://www.skywatcher.ro/educație/31_colimarea-unui-telescop-reflector-newtonian.html.
- Stlawu. 2021. „Phys 103 - Simple Harmonic Motion - Fall 2025”. http://myslu.stlawu.edu/~jml/physics/labs/103_lab/inactive/shm_old.shtml.
- Sunysb. 2025. „G2-01. Mass On Spring - Hand Held | Physics Lab Demo”. <https://www.stonybrook.edu/commcms/physics-lab-demo/g.-vibrations-and-mechanical-waves/g2.-resonance-and-coupled-oscillations/mass-spring-hand-held.php>.
- teachengineering. 2016. „Measuring Viscosity - Activity”. TeachEngineering.Org. https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_surg_lesson03_activity1.
- Tipler, Paul A., și Gene Mosca. 2008. „Physics for Scientists and Engineers, Extended Version, 2020 Media Update 6th Edition”. VitalSource. <https://www.vitalsource.com/products/physics-for-scientists-and-engineers-extended-tipler-paul-a-mosca-gene-v9781319534196>.
- Titus, Aaron. 2011. „Tracker Physics Labs”. https://e-l.unifi.it/pluginfile.php/860288/mod_resource/content/0/tracker-lab-manual.pdf.

- Trekkingscouter. 2023. „Building a 8 Inch Newtonian Reflector telescope from scratch”. Reddit Post. https://www.reddit.com/r/telescopes/comments/13lyzl0/building_a_8_inch_newtonian_reflector_telescope/. mai 19.
- UCSB. 2025a. „40.33 -- Mass-springs damped in oil, water”. <https://web.physics.ucsb.edu/~lecturedemonstrations/Composer/Pages/40.33.html>.
- UCSB. 2025b. „40.45 -- Driven mass-spring”. <https://web.physics.ucsb.edu/~lecturedemonstrations/Composer/Pages/40.45.html>.
- UnivBuc. 2007. „FISA DE DEPUNERE DOCUMENTE (FDD)”. http://www.cch.ro/arhiva/et_2_048.pdf.
- UPL. 2025. „Speed of Sound - Resonance Tube”. https://www.webassign.net/labsgraceperiod/asucolphysmechl1/lab_10/manual.html.
- Urone, Paul Peter, și Roger Hinrichs. 2020. „5.3 Projectile Motion - Physics | OpenStax”. OpenStax, martie 26. <https://openstax.org/books/physics/pages/5-3-projectile-motion>.
- Ursuletinazdravani. 2012. „Telefoane”. *ursuleți năzdrăvani*, iulie 12. <https://ursuletinazdravani.com/2012/07/12/telefoane/>.
- UT Cluj. 2025. „Determinarea Vitezei Undelor Acustice”. https://phys.utcluj.ro/PersonalFile/Cursuri/BarleaLaborator/17.Lab_Viteza_sunet_2c.pdf.
- Vedantu. 2025. „Resonance Column Tube Experiment: Principle, Formula & Uses”. VEDANTU. <https://www.vedantu.com/jee-main/physics-resonance-column-tube>.
- Vernier. 2025. „Newton’s Law of Cooling”. *Vernier*. https://www.vernier.com/experiment/pwv-30_newtons-law-of-cooling/.
- Welch, Greg, și Gary Bishop. 2006. *An Introduction to the Kalman Filter*.
- Wikipédia. 2016. „Fichier:Monochord Jeans.png — Wikipédia”. mai 14. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Monochord_Jeans.png.
- Wikipedia. 2022. „Telescop newtonian”. În *Wikipedia*. octombrie 24. https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Telescop_newtonian&oldid=15211183.
- Wikipedia. 2025a. „Cartesian Diver”. În *Wikipedia*. iunie 1. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cartesian_diver&oldid=1293307673.
- Wikipedia. 2025b. „Dobsonian Telescope”. În *Wikipedia*. august 13. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Dobsonian_telescope&oldid=1305730806.
- Wikipedia. 2025c. „Harmonic”. În *Wikipedia*. martie 27. <https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic>.

- Wikipedia. 2025d. „Mersenne’s Laws”. În *Wikipedia*. iunie 5.
https://en.wikipedia.org/wiki/Mersenne%27s_laws.
- Wikipedia. 2025e. „Newtonian Telescope”. În *Wikipedia*. septembrie 6.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Newtonian_telescope&oldid=1309925942.
- Wikipedia. 2025f. „Newton’s Cradle”. În *Wikipedia*. iulie 20.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Newton%27s_cradle&oldid=1301641605.
- Wikipedia. 2025g. „Newton’s Law of Cooling”. În *Wikipedia*. iulie 15.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Newton%27s_law_of_cooling&oldid=1300581202.
- Wikipedia. 2025h. „Pendulum”. În *Wikipedia*. iulie 5.
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pendulum&oldid=1298843894>.
- Wikipedia. 2025i. „Resonance”. În *Wikipedia*. septembrie 4.
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Resonance&oldid=1309526089>.
- Wikipedia. 2025j. „Series and Parallel Springs”. În *Wikipedia*. aprilie 4.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Series_and_parallel_springs&oldid=1283990017.
- Wikipedia. 2025k. „Standing Wave”. În *Wikipedia*. februarie 22.
https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave.
- Wikipedia. 2025l. „Stokes’ Law”. În *Wikipedia*. aprilie 28.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stokes%27_law&oldid=1287866591.
- Wikipedia. 2025m. „String Vibration”. În *Wikipedia*. august 17.
https://en.wikipedia.org/wiki/String_vibration.
- Woithe, Julia, Andreas Müller, Sascha Schmeling, și Jochen Kuhn. 2022. „Motivational Outcomes of the Science Outreach Lab S’Cool LAB at CERN: A Multilevel Analysis”. *Journal of Research in Science Teaching* 59 (6): 930-68. <https://doi.org/10.1002/tea.21748>.
- Wowlab. 2025. „Ateliere scoala 2024/2025 - Ateliere saptamana altfel 2024/2025 - Wowlab.ro”. *Wow Lab*. <https://wowlab.ro/scoala-altfel-experimente-copii/>.
- Xue, QiLin. 2020. „Determining the Q Factor of a Homemade Pendulum”. <https://xueqilin.me/engsci-2t4/phy180/labs/lab-2/lab-pendulum-1.pdf>.